

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

Data de aceite: 02/09/2025

APLICABILIDADE DA METODOLOGIA MULTIELEMENTAR MEHLICH 3 PARA ANÁLISE QUANTITATIVA DE SOLOS

Enéias Maffezzolli

Mestre em Engenharia Química pela FURB. Professor do Centro Universitário da Fundação Educacional de Brusque – UNIFEBE

Felipe Luz Batista

Graduado em Engenharia Química pelo Centro Universitário da Fundação Educacional de Brusque - UNIFEBE

Luana Gabrieli Bach Rupolo

Mestra em Ciência e Tecnologia Ambiental pela UNIVALI. Professora do Centro Universitário da Fundação Educacional de Brusque – UNIFEBE

Rafaela Bohaczuk Venturelli Knop

Doutora em Engenharia Química pela UFSC. Professora do Centro Universitário da Fundação Educacional de Brusque – UNIFEBE

Todo o conteúdo desta revista está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).



RESUMO: Este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência do extrator Mehlich 3 na determinação dos teores de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn) e ferro (Fe) em diferentes tipos de solo. As análises foram realizadas em amostras coletadas de áreas agrícolas com diferentes perfis texturais, com o propósito de compreender como as características físico-químicas do solo influenciam na extração e disponibilidade desses nutrientes. Os resultados experimentais foram interpretados e analisados com o intuito de verificar a possibilidade da substituição da metodologia de extração dos macronutrientes e micronutrientes pela metodologia do Mehlich 3 e estabelecer relações com as propriedades dos solos analisados. O estudo discute a aplicabilidade do Mehlich 3 como método multielementar, com potencial para redução de tempo de trabalho, custo de análise e otimização dos serviços laboratoriais, além de fornecer contribuições para uma recomendação de adubação mais precisa e sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Mehlich 3; solos; multielementar.

INTRODUÇÃO

A fertilidade e saúde do solo são alguns dos fundamentos essenciais para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, interferindo diretamente na produtividade das culturas e na qualidade do solo e do ambiente. A disponibilidade de nutrientes essenciais, como o fósforo (P), que é de suma importância para o desenvolvimento das plantas. O fósforo é um dos elementos vitais na transferência de energia e na constituição de certos ácidos nucleicos. No entanto, a dinâmica do fósforo no solo é complicada, especialmente em alguns solos tropicais, onde a fixação por óxidos de ferro e alumínio interfere diretamente na sua disponibilidade para as plantas.

A fim de avaliar a disponibilidade de macronutrientes e micronutrientes no solo, diversos métodos de extração têm sido desenvolvidos, destacando-se os extratores Mehlich 1, HCl 0,1M, Mehlich 3 entre outros. O Mehlich 1, amplamente utilizado no Brasil, é eficaz em solos ácidos de baixa capacidade tampão, porém apresenta limitações em solos com altos teores de matéria orgânica ou em sistemas de plantio direto. Por outro lado, o Mehlich 3, inicialmente desenvolvido por Mehlich em 1984, foi conhecido como um extrator multielementar, capaz de extrair simultaneamente a disponibilidade de vários nutrientes, incluindo P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn e Fe.

Estudos comparativos entre diferentes extratores e Mehlich 3 têm demonstrado diferenças significativas na quantificação do fósforo disponível. Bortolon e Gianello (2008) observaram que os teores de P extraídos pelo Mehlich 3 foram, em média, 50% superiores aos obtidos com o Mehlich 1 em amostras de solos do Rio Grande do Sul. Essa variação está associada às características químicas, que extrai preferencialmente o P ligado ao Fe e Al, além de ser influenciado pelo teor de argila do solo, exigindo melhores e mais rígidas interpretações dos resultados.

Além disso, o Mehlich 3 tem se mostrado eficiente na extração de micronutrientes em solos sob sistemas de semeadura direta, como demonstrado por Consolini e Coutinho (2006), que destacaram sua capacidade de extrair cobre e zinco em solos com alto teor de matéria orgânica. Essa versatilidade torna essa nova extratora uma ferramenta promissora para a avaliação da fertilidade em diferentes condições ambientais e climáticas e diferentes tipos de solos.

Diante das limitações de extratoras unielementares e das vantagens do Mehlich 3, é essencial compreender as diferenças entre esses métodos e suas implicações na recomendação para a aplicação de fertilizantes, corretivos e

biofertilizantes. A substituição pelo Mehlich 3 pode representar um avanço na precisão das análises de solo, contribuindo para o manejo mais eficiente dos nutrientes e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

ANÁLISE DE SOLOS

Doran e Parkin (1994) apresentaram um conceito sobre a qualidade do solo que mais para frente foi comprovado por Doran (1997) e permanece amplamente aceito até nos dias de hoje. Segundo o autor, a qualidade do solo está relacionada à sua capacidade para desempenhar funções dentro dos limites de um ecossistema, podendo ser ele natural ou manejado, com o objetivo de garantir a produção de plantas, conservar ou melhorar a qualidade da água e do ar, além de agregar para a saúde vegetal, animal e humana.

A análise do solo é o jeito de se certificar, antes de plantar, o quão bom um solo pode ser a o ceder nutrientes as plantas. Esse método é o melhor jeito de saber como é a composição do solo e a partir daí fazer o melhor uso de corretivos e adubos, a fim de ter um melhor plantio e, por fim, ter mais lavouras bem nutridas. A análise do solo se faz em três partes importantes a amostragem, análise no laboratório e a interpretação de dados, conforme Neto et al. (2001).

INDICADORES DE QUALIDADE

Doran e Parkin, em 1994, propuseram um conjunto crucial de indicadores para avaliação da qualidade do solo, incluindo aspectos biológicos, físicos e químicos. Quanto aos indicadores físicos a textura, profundidade do solo e das raízes, massa específica aparente, taxa de infiltração hídrica, capacidade de retenção, juntos ao armazenamento hídrico, teor de humidade e a temperatura do solo, se mostram importantes.

Em relação as propriedades químicas o pH, condutividade elétrica, os teores de nitrogênio mineral (amônio e nitrato), macronutrientes e micronutrientes são estudados. Por último, na visão biológica, os teores de carbono, nitrogênio da biomassa microbiana, carbono orgânico total e até o nitrogênio potencialmente mineralizável, são evidenciados. Além disso, também se acredita que a respiração microbiana, a relação carbono da biomassa com carbono total e a relação entre respiração e a biomassa microbiana são aspectos cruciais (Lehman, R. M. et al., 2015).

IMPORTÂNCIA DOS MACRONUTRIENTES

As plantas, como outras coisas vivas, necessitam água e matéria orgânica para sobreviverem. Além da água e matéria orgânica, esses nutrientes absorvidos em grande quantidade também são muito importantes para o crescimento das plantas: nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), esses são os macronutrientes (Mendes, 2007).

Conforme Batista et al. (2018), mais ou menos 4% da massa seca das plantas são compostos por minerais muito importantes, os macronutrientes são um destaque. Esses elementos são o que precisam em quantidades consideráveis, por exemplo gramas por quilo de matéria seca (g kg^{-1}), fazendo coisas chave no metabolismo da planta. Nitrogênio, fósforo e potássio são os macronutrientes principais, porque as plantas necessitam muito deles e é mais fácil ter falta deles no solo. Cálcio, magnésio e enxofre também são macronutrientes secundários, apesar de serem importantes, precisam em menor quantidade, e costumam durar mais tempo no sistema de plantio.

IMPORTÂNCIA DOS MICRONUTRIENTES

Além dos macronutrientes, as plantas também necessitam de quantidades menores geralmente em miligramas por quilograma de matéria seca (mg kg^{-1}) de outros elementos igualmente indispensáveis ao seu desenvolvimento, denominados micronutrientes. Esse grupo inclui boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn). Portanto, a presença adequada de micronutrientes no solo é tão essencial quanto a de macronutrientes para garantir a saúde e a produtividade vegetal (Batista et al., 2018).

Apesar da menor demanda quantitativa, esses elementos desempenham funções vitais no metabolismo vegetal, como ativação enzimática, transporte de elétrons e processos hormonais. Vale destacar que a classificação entre macro e micronutrientes é meramente quantitativa e, portanto, varia de acordo com a espécie vegetal (Mendes, 2007).

MEHLICH 1

Nos estados do Sul do Brasil, como Rio Grande do Sul e Santa Catarina, o método Mehlich 1 é utilizado oficialmente para a análise da fertilidade do solo. Essa extratora é ajustada com base nas principais culturas agrícolas da região, garantindo resultados compatíveis com suas necessidades nutricionais. Uma das principais vantagens do uso do Mehlich 1 é sua praticidade na execução, o que favorece sua adoção em larga escala nos laboratórios de rotina (Oliveira, 2010).

De acordo com Costa (2023) o método de extração Mehlich 1 é amplamente empregado na avaliação da disponibilidade de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na) em solos tropicais altamente intemperados. Apesar de sua eficácia nessas condições, pode-se apresentar limitações em solos com maior fertilidade, es-

pecialmente naqueles onde o fósforo está mais fortemente ligado ao cálcio (Ca), formando compostos menos disponíveis às plantas. Nessas situações, o extrator pode subestimar os teores reais de P disponível, o que compromete a interpretação da análise e, consequentemente, o manejo nutricional adequado.

MEHLICH 3

Benéficos do Mehlich 3

O Mehlich 3, uma solução extratora que extrai multielementos, usa EDTA para segurar os micronutrientes, através da criação complexos (Mehlich, 1984). A solução, de Mehlich 3, tem se destacado bastante em estudos focados na avaliação da saúde dos solos (Raij, 1994). Mas, usar ele em análises de laboratório exige relacionar os achados com a produção de plantações, numa área específica. Pouca informação suporta o uso dele em alguns elementos e tipos de solo.

Numa pesquisa de Bortolon (2005), a eficácia do Mehlich 3 foi comprovada, retirando nutrientes como P, K, Cu, Zn, Ca e Mg ao mesmo tempo, mostrando que ele é bom como um método comum. O Mehlich 3 traz vários benefícios, tipo facilidade de uso, menor custo, resultados rápidos, transparência do que é extraído e consegue tirar vários elementos juntos. Isso faz do método uma boa escolha para laboratórios e para diferentes tipos de solo, com propriedades diversas (Wang et al., 2004).

Princípios químicos

Uma mistura usual do Mehlich 3 para dissolver fósforo, utiliza ácido clorídrico HCl e fluoreto de amônio NH_4F . Nessa solução, o fluoreto age, basicamente, formando complexos estáveis com íons alumínio Al^{3+} , facilitando a liberação do fósforo que estava antes ligado a esses compostos. A remoção do fósforo associado ao cálcio ocorre por meio da

formação de um fluoreto de cálcio, que não dissolve. As concentrações desta mistura variam tipicamente, o ácido entre 0,025 e 0,1 mol L⁻¹, e o NH₄F aplicado, por volta de 0,03 mol L⁻¹. Então, a função do extrator Mehlich 3 depende do meio ácido e do fluoreto juntos, promovem a extração do fósforo do solo (EMBRAPA 2009).

Ademais, o Mehlich 3 mostra maior eficiência na solubilização do fósforo, se comparado ao Mehlich 1, removendo uma quantidade maior de nutriente (Kroth, 1998. Bortolon e Gianello, 2008). Isso permite ampliar as possibilidades de interpretar os níveis de fósforo no solo, ajudando em uma precisão melhor nos resultados das análises e recomendações de fertilizantes.

AMOSTRAS

Neste estudo, foram utilizadas quatro amostras de solo provenientes do estado de Santa Catarina, Brasil, identificadas como J11, J13, J14 e J15, oriundas dos municípios de Curitiba, Brusque, Biguaçu e Itapema, respectivamente. A classificação taxonômica dessas amostras é: J11 — Nitossolo Háplico Eutrófico; J13 — Gleissolo Háplico Distrófico; J14 — Cambissolo Háplico Distrófico; e J15 — Argissolo Vermelho-Amarelo. As amostras já apresentavam valores determinados de macro e micronutrientes, obtidos por análises laboratoriais realizadas de acordo com os procedimentos descritos no Boletim Técnico n.º 5 da Comissão de Química e Fertilidade do Solo da Região Sul (CQFS-RS/SC), que estabelece os métodos oficiais para a análise de solos.

Os elementos fósforo (P), potássio (K) e sódio (Na) foram extraídos utilizando o método Mehlich-1, conforme recomendado para solos da região sul do Brasil. Para os micronutrientes, foram adotadas extratoras específicas: o ferro (Fe) foi extraído com EDTA (ácido etilenodiaminotetracético), o manganês (Mn) com solução de KCl 1 mol L⁻¹, e os elementos

cobre (Cu) e zinco (Zn) com solução de HCl 0,1 mol L⁻¹. A escolha dessas extratoras pelo Boletim Técnico n.º 5, visa representar adequadamente a disponibilidade dos nutrientes para as plantas, conforme a natureza química de cada elemento e a composição dos solos analisados.

EQUIPAMENTOS

Capela

A Capela de Exaustão de Gases é um Equipamento de Proteção Coletiva (EPC) fundamental para ambientes onde durante os procedimentos laboratoriais, utilizou-se a capela para a preparação de soluções, assegurando um ambiente seguro e adequado para o manuseio de substâncias químicas voláteis e potencialmente perigosas. Essas capelas são projetadas para proteger os trabalhadores e garantir a segurança, evitando a inalação de substâncias nocivas e mantendo o ambiente controlado. Com a construção de diferentes formas e materiais, conforme a finalidade de uso, as Capelas de Exaustão LCQ se destacam por atenderem normas internacionais, como a EN 14175, e são reconhecidas pela sua excelente performance em segurança, aerodinâmica e resistência (Lutech, 2025).

Espectrofotômetro de absorção atômica

O Espectrofotômetro de Absorção Atômica Shimadzu Série AA-7800 é um instrumento versátil projetado para atender a uma ampla gama de aplicações analíticas. O equipamento foi utilizado para realizar as leituras dos elementos químicos potássio (K), manganês (Mn), ferro (Fe), sódio (Na), cobre (Cu) e zinco (Zn), presentes nas amostras analisadas onde ele permite a análise de múltiplos elementos por meio de um sistema que acomoda até oito lâmpadas de cátodo oco, com comutação automática entre elas. Além disso, o sistema de chama suporta amostras com altas

concentrações ou solventes orgânicos, oferecendo flexibilidade para diversas necessidades laboratoriais (Shimadzu do brasil, 2025).

Para facilitar o uso, mesmo por iniciantes, o AA-7800 incorpora o software WizAArd e funcionalidades de otimização automática, garantindo uma operação intuitiva. O sistema de atomizador duplo, disponível nas versões manual e automática, permite alternância fácil entre os modos de chama e forno, adaptando-se às exigências específicas de cada análise (Shimadzu do brasil, 2025).

Mesa agitadora

O agitador pendular Te-240/1 é um equipamento amplamente utilizado em laboratórios para realizar a agitação de funis de separação e outros recipientes semelhantes, que contêm amostras que necessitam ser agitadas por longos períodos para alcançar uma homogeneização completa. O equipamento foi empregado para promover a agitação das amostras durante o procedimento de extração com o reagente Mehlich 3, garantindo uma interação adequada entre o solo e a solução extratora. Esse tipo de agitador proporciona um movimento oscilante de vai e vem, o que permite que os recipientes se movam de maneira pendular, favorecendo uma mistura suave e eficaz das substâncias contidas no interior. (Tecnal, 2025).

Balança

A balança analítica de precisão modelo ATY da marca Shimadzu foi empregada nas pesagens realizadas neste trabalho, sendo apropriada para laboratórios que demandam medições precisas, estáveis e com bom custo-benefício. O equipamento possui sensibilidade de 0,0001 g (quatro casas decimais) e resposta rápida, sendo aprovado pelo Inmetro. Está equipada com o sistema de pesagem UNIBLOC, que permite ajustes no tempo de resposta e na estabilidade, ideal para am-

bientes sujeitos a correntes de ar ou vibrações (Shimadzu do brasil, 2025).

UV-Visível

O espectrofotômetro Quimis Q898DPT foi utilizado neste estudo é um modelo básico, adequado para laboratórios cujas rotinas analíticas não exigem equipamentos sofisticados ou de alto custo. Este instrumento combina as vantagens de um espectrofotômetro digital com uma excelente relação custo-benefício, sendo plenamente satisfatório para análises de rotina. O aparelho permite leituras diretas em Absorbância (Abs) e Transmitância (%T), operando com um feixe de luz visível proveniente de uma lâmpada de tungstênio halogênio. Sua faixa de absorbância vai de 0 a 2 Abs, o que atende adequadamente às demandas das determinações realizadas neste trabalho (Quimis aparelhos científicos, 2025).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada neste estudo seguiu os procedimentos descritos no Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes, publicado pela EMBRAPA (2009), com foco nos métodos recomendados para a extração e determinação dos elementos em amostras de solo. As etapas de preparo dos reagentes, extração e quantificação foram executadas com algumas modificações conforme os protocolos apresentados no artigo, visando garantir a confiabilidade, reprodutibilidade e comparabilidade dos resultados obtidos.

As análises foram realizadas no laboratório da empresa Laborgeo, localizado no município de Tijucas, estado de Santa Catarina. A Laborgeo é especializada em análises geoquímicas, atuando com rigor técnico e instrumental adequado para garantir a confiabilidade dos resultados obtidos. Todo o processo analítico seguiu protocolos estabelecidos e contou com infraestrutura laboratorial compatível com as exigências metodológicas da pesquisa.

MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para a realização do experimento, forem utilizados os seguintes materiais:

- Balão volumétrico 1 L e 2 L (Preparo das soluções).
- Capela de exaustão (Preparo das soluções)
- Espátula (Pesagem dos reagentes).
- Pipetas graduadas de vidro de 1 mL, 5 mL, 10 mL, 20 mL (Preparo das soluções).
- Pipetas volumétricas de vidro de 50 mL e 100 mL (Preparo das soluções).
- Balança analítica (Pesagem dos reagentes).
- Vidro relógio (Pesagem dos reagentes).
- Frascos âmbar de 1 L (Armazenamento das amostras).
- Frasco polipropileno escuro (Armazenamento das amostras).
- pHmetro (Ajustar o pH da solução)
- Recipiente de polipropileno com perfurações (Secagem das amostras).
- Estufa (Secagem das amostras).
- Almofariz (Destorroar as amostras).
- Pistilo (Destorroar as amostras).
- Peneira 2,0 mm (Ajustar a granulometria da amostra).
- Fundo de peneira (Receber a amostra destorroada).
- Snap Cap de vidro 125mL (Extração das amostras).
- Cachimbo calibrado 10 cm³ (Volume usado na extração).
- Proveta de 50 mL (Adicionar o Mehlich 3).
- Mesa agitador Tecnal (Agitação na extração).
- Pipeta automática 10 mL, 5 mL e 1 mL (Pipetar amostras e soluções).
- Tubo de ensaio de 15 mL (Preparar as amostras para determinação).
- UV-Visível (Determinação dos elementos).

- Absorção Atômica (Determinação dos elementos).

REAGENTES E SOLUÇÕES

Foram preparadas as seguintes soluções reagentes:

Solução-estoque de NH_4F 3,75 mol L⁻¹ + EDTA 0,25 mol L⁻¹

Dissolveu-se, exatos, 138,9 g de fluoreto de amônio (NH_4F P.A.) em 600 mL de água deionizada, e logo após foi adicionado 73,05 g de EDTA P.A.. Homogeneizou-se bem a solução, até que todos os reagentes se dissolvessem por completo, e completou o volume para 1 L num balão volumétrico. A solução obtida, foi guardada num frasco polipropileno escuro.

Solução extratora (Mehlich 3)

Em um balão plástico de 2,5 L foi se adicionado 2 L de água deionizada, logo após foram adicionados 50 g de nitrato de amônio (NH_4NO_3 P.A.) e 20 mL da solução-estoque de NH_4F + EDTA. Após, acrescentaram-se 28,57 mL de ácido acético glacial (CH_3COOH P.A.) e 2,05 mL de ácido nítrico (HNO_3 P.A.). Completou-se o volume com água deionizada e homogeneizou. Foi necessário calibrar o pH da solução para $2,5 \pm 0,1$, logo foi usado o ácido nítrico para reduzir o pH até o desejado.

Solução concentrada de molibdato e tartarato de amônio

Dissolveu-se 500 g de molibdato de amônio [$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$], e exatos 1,212 g de tartarato duplo de antimônio e potássio [$\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$], em uns 200 mL de água. Gradualmente adicionaram-se 700 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. Depois do resfriamento, chegou-se a 1 L utilizando um balão volumétrico e água deionizada, no volume total. Guardou-se num frasco de polietileno escuro, refrigerado.

Solução de ácido ascórbico

Pesou-se 22,0 g de ácido ascórbico e colocou em balão volumétrico de 250 mL. Foi adicionado água deionizada e agitado e completou-se o volume com água deionizada. Foi estocado num frasco de vidro, em um compartimento refrigerado e escuro.

Solução de trabalho (molibdato + ácido ascórbico)

Em um balão de 1 L com 500 mL de água, foram adicionados 20 mL da solução concentrada de molibdato e 10 mL da solução de ácido ascórbico. Após misturar tudo, completou-se o volume com água destilada. A solução repousou a temperatura ambiente, antes de utilizar.

Solução Primária (P: 500 mg/L; K e Na: 1000 mg/L)

Na preparação da solução primária foram pesados os seguintes reagentes analíticos em balão volumétrico de 1 litro: 0,439 g de KH₂PO₄ (fosfato de potássio), 1,274 g de KCl (cloreto de potássio) e 2,542 g de NaCl (cloreto de sódio). Esses sais foram dissolvidos em Mehlich 3, e o volume foi completado até 1 L.

Solução Secundária (P: 100 mg/L; K e Na: 5000 mg/L)

A partir da solução primária, foi preparada a solução secundária por meio de diluição, onde foram utilizados 200 mL da solução primária, completando-se o volume até 1 L com Mehlich 3.

Soluções de Trabalho de P, K e Na (Padrões de Calibração)

A partir da solução secundária, foram preparados cinco padrões de trabalho com diferentes concentrações de fósforo, potássio e sódio. Os volumes da solução secundária foram pipetados e diluídos com Mehlich 3 até 1 L (Tabela 1), conforme abaixo:

Padrões	Volume da Solução Secundária (mL)	P (mg/L)	K, Na (mg/L)
C1	10	1	2
C2	20	2	4
C3	35	3,5	7
C4	50	5	10
C5	75	7,5	15
C6	100	10	20

Tabela 1 – Soluções de trabalho de P, K e Na

Fonte: Autor (2025)

Solução Primária de Micronutrientes (Fe: 100 mg/L; Cu e Zn: 20 mg/L; Mn: 80 mg/L)

Para preparar 1 L da solução primária, foram utilizados os seguintes volumes: 100 mL da solução padrão de ferro (Fe) 1000 mg/L, 20 mL da solução padrão de cobre (Cu) 1000 mg/L, 20 mL da solução padrão de zinco (Zn) 1000 mg/L e 80 mL da solução padrão de manganês (Mn) 1000 mg/L. Os volumes foram adicionados a um balão volumétrico de 1 L, e o volume foi completado com mehlich 3.

Soluções de Trabalho para Micronutrientes (Padrões de Calibração)

A partir da solução primária, foram preparadas cinco soluções de calibração com as seguintes concentrações, volumes correspondentes por litro e avolumados com Mehlich 3 (Tabela 2):

Padrões	Volume da Solução Secundária (mL)	Cu, Zn (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
C1	12 5	0,25	1,25	0,5
C2	25	0,5	2,5	1
C3	50	1	5	2
C4	75	1,5	7,5	3
C5	100	2	10	4

Tabela 2 – Soluções de trabalho para micronutrientes

Fonte: Autor (2025)

PREPARO DA AMOSTRA

Para a preparação das amostras de solo, o material foi utilizado em in natura e acondicionado em recipientes de polipropileno com perfurações, permitindo a circulação de ar. As amostras foram então submetidas à secagem em estufa a 45 °C por um período de 48 horas. Após a secagem, o solo foi destorroado manualmente em almofariz, até que apresentasse granulometria passante pela malha de 2 mm (malha 10 mesh), evitando-se a moer eventuais pedaços de rocha presentes nas amostras.

EXTRAÇÃO

Para a extração, utilizou-se 10 cm³ da amostra de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) adicionada com cachimbo em frascos de vidro de 125 mL, nos quais foram adicionados 50 mL da solução extratora (Mehlich 3) com pipeta automática (Figura 1). A mistura foi agitada em agitador horizontal a 200 rpm durante dez minutos. Após esse período, o material foi deixado em repouso aproximadamente 12 horas.



Figura 1 – Preparação da extração

Fonte: Autor (2025)

DETERMINAÇÃO DOS ELEMENTOS

Fosforo (P)

A determinação do fósforo foi realizada por espectrofotometria UV-Visível. Para cada amostra, foi transferida uma alíquota de 1 mL

do extrato para tubos de ensaio de 15 mL. Em seguida, foram adicionados 7 mL da solução de trabalho contendo molibdato de amônio, tartarato de antimônio e ácido ascórbico. Após a homogeneização, as amostras permaneceram em repouso por aproximadamente 15 minutos, permitindo o desenvolvimento da coloração azul característica do complexo formado entre o fósforo e os reagentes presentes (Figura 2). A leitura foi realizada em espectrofotômetro UV-Visível (Figura 3), utilizando comprimento de onda de 880 nm, registrando-se a absorbância.

Para expressar os resultados em mg/dm³, utilizou-se a equação (1), que permite converter os valores de absorbância obtidos na análise em concentrações.

$$P = abs * FC * 5 \quad (1)$$

Onde:

P - Fosforo disponível em mg/dm³.

abs - Leitura de absorção pelo UV-Visível.

FC - Fator de correção, determinado a partir da curva de calibração.

5 - Fator de diluição recorrente da extração.



Figura 2 – Determinação do Fosforo

Fonte: Autor (2025)



Figura 3 – UV-Visível

Fonte: Autor (2025)

Potássio (K), Sódio (Na) e Manganês (Mn)

A quantificação desses elementos foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica em chama. Para isso, foram transferidas alíquotas de 6 mL do extrato para tubos de ensaio de 15 mL, e adicionados 6 mL da solução extratora Mehlich 3. Após homogeneização, as soluções foram analisadas diretamente, sem tempo de repouso adicional. As medições foram realizadas em espectrofotômetro de absorção atômica, com uso de lâmpadas específicas para cada elemento e condições otimizadas de leitura (gás comburente, tipo de chama e comprimento de onda adequados).

Para a obtenção dos resultados expressos em mg/dm^3 , aplicou-se a equação (2), que permite converter os valores de absorbância em concentrações.

$$K, Na e Mn = abs * FC * 5 * 2 \quad (2)$$

Onde:

K, Na e Mn - Potássio, sódio e manganês disponíveis em mg/dm^3 .

abs - Leitura de absorção pela absorção atômica.

FC - Fator de correção, determinado a partir da curva de calibração.

5 - Fator de diluição recorrente da extração.

2 - Fator de diluição utilizado no preparo das amostras.



Figura 4 – Absorção Atômica (AA-7800)

Fonte: Autor (2025)

Cobre (Cu) e Zinco (Zn)

A determinação de cobre e zinco também foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica. Foram transferidos 10 mL do extrato para tubos de ensaio de 15 mL, sem adição de reagentes auxiliares. As amostras foram homogeneizadas e, em seguida, analisadas diretamente no equipamento. As leituras foram feitas com o uso de lâmpadas de cátodo oco específicas para cada elemento, utilizando configurações apropriadas de chama e comprimento de onda.

A equação (1) utilizada para a determinação do fósforo também foi aplicada na quantificação de cobre e zinco, uma vez que o princípio de conversão da absorbância em concentração é o mesmo. Isso permite padronizar o cálculo e garantir a consistência dos resultados para esses elementos.

Ferro (Fe)

Para a determinação da concentração de ferro, utilizou-se 0,1 mL da mesma solução previamente diluída utilizada para as análises de potássio, sódio e manganês. Neste volume, foram adicionados 9,9 mL de água deionizada.

da, assim totalizando uma nova diluição. A solução proveniente da diluição foi devidamente homogeneizada e submetida à análise por espectrofotometria de absorção atômica com sua determinada lâmpada de cátodo oco seguindo as recomendações para a calibração.

A conversão dos dados obtidos para concentração, expressa em mg/dm³, foi realizada por meio da equação (3).

$$Fe = abs * FC * 5 * 200 \quad (3)$$

Onde:

Fe - Ferro disponível em mg/dm³.

abs - Leitura de absorção pela absorção atômica.

FC - Fator de correção, determinado a partir da curva de calibração.

5 - Fator de diluição recorrente da extração.

200 - Fator de diluição utilizado no preparo das amostras.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a realização dos procedimentos de extração e determinação dos elementos, torna-se possível proceder à análise dos resultados obtidos a partir dos cálculos. A partir dos dados gerados pelo extrator Mehlich 3 (Tabela 3), bem como dos resultados obtidos anteriormente por metodologias tradicionais descritas no boletim técnico n.º 5 utilizado (Tabela 4), é viável estabelecer uma comparação entre os métodos. Essa comparação permite avaliar a eficiência analítica e interpretativa de cada técnica, possibilitando a identificação da metodologia mais adequada para a determinação da disponibilidade de nutrientes no solo.

FOSFORO (P)

Os resultados para fósforo evidenciaram maior disponibilidade no Nitossolo Háplico Eutrófico (J11), o que é condizente com sua elevada capacidade de retenção de nutrientes e baixa fixação de fósforo, sobretudo pela presença de matéria orgânica e textura favorável. Em contrapartida, o Gleissolo Háplico Distrófico (J13) apresentou valores nulos de fósforo extraído, o que é coerente com as limitações químicas desses solos hidromórficos. Isso se apresenta pelo uso do método Mehlich 3 onde demonstrou-se eficaz em captar essas variações, uma vez que sua composição ácida (pH 2,5) e a presença de EDTA e NH₄F favorecem a extração de fosfatos ligados ao ferro e alumínio, típicos de solos ácidos e intemperados (Pereira, 2019).

Além disso, a literatura aponta que o Mehlich 3 apresenta elevada correlação com o fósforo absorvido por determinadas culturas, com coeficiente de determinação, superior ao Mehlich 1 em alguns casos (Bortolon; Gianello; Schlindwein, 2009). A capacidade de prever resultados comprova sua eficiência, mesmo em solos com características físico-químicas distintas. Bortolon e Gianello (2008) também destacam que a precisão do Mehlich 3 é menos afetada por variações de textura, fator relevante ao considerar o Cambissolo (J14) e o Argissolo (J15), que apresentaram teores intermediários de fósforo na sua análise.

POTÁSSIO (K)

A distribuição do potássio nas amostras refletiu nitidamente a influência do tipo de solo sobre a disponibilidade desse nutriente. Os maiores teores foram observados no Nitossolo (J11), que apresenta boa capacidade de troca catiônica (CTC), onde método Mehlich 3 se mostrou eficiente para extração de potássio trocável, pois utiliza o nitrato de amônio (NH₄NO₃), que promove a troca iônica entre

os cátions do solo e os íons NH_4^+ presentes na solução, facilitando a liberação do K^+ para o extrato e enquanto isso mostrando menores índices que apareceram no Gleissolo (J13), que possui menor atividade coloidal e maior suscetibilidade à lixiviação. (Santos et al., 2015).

Além disso, conforme destacado por Kroth (1998), o Mehlich 3 mostrou-se aplicável a uma ampla gama de solos brasileiros, inclusive os altamente intemperados, proporcionando extração eficiente de potássio sem a necessidade de reagentes altamente corrosivos onde podemos ver no Argissolo J15 que obteve altos teores.

SÓDIO (NA)

O sódio, apesar de não ser um nutriente essencial para a maioria das culturas, pode ter implicações na salinidade e estrutura do solo. Os resultados demonstraram teores baixos em todas as amostras, como esperado para solos sob clima úmido e bem drenado. A extração por Mehlich 3, embora não seja tradicionalmente usada para esse elemento, mostrou-se funcional devido à presença do nitrato de amônio, que facilita a liberação de cátions solúveis, inclusive o sódio (PEREIRA, 2019).

Segundo Santos et al. (2015), o Mehlich 3 pode apresentar maior sensibilidade a variações de temperatura, o que deve ser considerado para a padronização dos protocolos de laboratório, mas não compromete sua capacidade de extrair elementos como Na de maneira eficiente. Essa observação corrobora os resultados obtidos em nosso estudo, nos quais a extração de sódio (Na) apresentou consistência e eficiência apesar dos baixos teores, indicando que as condições controladas durante as análises laboratoriais foram adequadas para minimizar efeitos indesejados da temperatura e garantir a confiabilidade dos dados.

MANGANÊS (MN)

A quantidade de manganês obtida na extração correspondeu às especificidades químicas e minerais dos solos analisados. O Nitossolo (J11) apresentou teores mais elevados, coerentes com seu potencial de liberação de Mn ligado à fração óxida. Já o Gleissolo (J13), sujeito a condições redutoras, também apresentou manganês disponível, o que pode ser atribuído à solubilização de Mn^{2+} sob condições de redução. O método Mehlich 3, por conter ácido nítrico e EDTA, favorece a extração do manganês trocável e parte do não-trocável interferindo diretamente nos resultados (Pereira, 2019).

De acordo com Consolini e Coutinho (2006), a eficiência da extração de Mn pelo Mehlich 3 é elevada mesmo em solos com alto teor de matéria orgânica e variações de pH que se aplicou neste caso, especialmente pela ação do EDTA, que previne a precipitação do elemento após sua solubilização.

COBRE (CU)

A extração de cobre das amostras demonstrou a eficiência do Mehlich 3, especialmente no Nitossolo e Cambissolo, solos com capacidade de adsorver esse micronutriente. O método se destacou por extrair mais cobre do que o extrator tradicional HCl 0,1 mol/L, como observado por Schoninger et al. (2012), devido à formação de complexos estáveis com EDTA, presente na solução Mehlich 3 (Schoninger et al., 2012).

A correlação entre os teores de Cu extraídos por Mehlich 3 (Tabela 3) e os absorvidos pelas plantas também é alta, o que reforça sua aplicabilidade prática em diagnósticos de fertilidade (Bortolon; Gianello, 2008). Os autores apontam que o método permite ajustar faixas interpretativas específicas, dada sua sensibilidade maior que a do HCl, tornando-se adequado inclusive para solos com matéria orgânica elevada e apresentando melhores resultados.

ZINCO (ZN)

Os teores de zinco extraídos foram compatíveis com a natureza química dos solos analisados. Em geral, os maiores teores ocorreram no Nitossolo, enquanto os menores foram observados no Gleissolo. O Mehlich 3, embora extraia em média 66% do zinco comparado ao HCl, como mostram Consolini e Coutinho (2006), apresenta excelente correlação, sendo considerado eficiente, mesmo em solos com variações de textura e matéria orgânica.

Contudo, é importante destacar que o Mehlich 3 pode subestimar o Zn em solos com baixos teores do elemento, especialmente devido ao seu pH menos ácido que o HCl, porém através do experimento foi possível perceber bom resultado do Zn. Apesar disso, sua capacidade de extração em solos agrícolas com níveis adequados foi validada por estudos realizados na UDESC, que reforçam sua aplicabilidade em ambientes com alto teor de matéria orgânica (Schoninger et al., 2012).

FERRO (FE)

A análise do ferro mostrou que o método Mehlich 3 foi capaz de discriminar adequadamente os diferentes níveis de disponibilidade do elemento entre as amostras, com destaque para o Nitossolo (J11) e o Cambissolo (J14), ambos com mineralogia rica em óxidos de ferro. Essa eficiência é atribuída à presença do ácido nítrico e do EDTA na solução extratora, que contribuem para a solubilização de formas pouco disponíveis do ferro, inclusive em solos com altos teores de óxidos de Fe e baixa acidez (Pereira, 2019). O EDTA, em particular, atua como agente quelante, complexando o Fe^{3+} liberado da fase sólida, evitando sua precipitação durante a análise.

Bortolon e Gianello (2008) ressaltam que o Mehlich 3 extrai ferro eficientemente em diferentes solos, inclusive os altamente intemperizados, graças à sua composição multielementar. Além disso, seu desempenho é com-

parável a extratores mais agressivos, como HCl 0,1 mol/L, mas com menor impacto ambiental (Schoninger et al., 2012). No presente estudo, essa eficiência foi confirmada, pois o método detectou claramente as variações de ferro entre os solos analisados, demonstrando sua adequação para avaliar a disponibilidade desse nutriente.

	K (mg/ dm ³)	Cu (mg/ dm ³)	Zn (mg/ dm ³)	Fe (mg/ dm ³)	Na (mg/ dm ³)	Mn (mg/ dm ³)	P (mg/ dm ³)
J11	146,06	1,18	5,93	452,25	21,02	41,20	34,91
J13	36,41	0,59	1,37	223,31	12,23	12,98	ND
J14	16,77	0,42	2,27	286,42	18,10	3,98	5,21
J15	86,95	0,91	7,63	471,10	26,58	25,96	8,44

Tabela 3 – Resultados obtidos pela metodologia da EMBRAPA 2009 (Mehlich 3)

Fonte: Autor (2025)

	K (m g / dm ³)	Cu (m g / dm ³)	Zn (m g / dm ³)	Fe (m g / dm ³)	Na (m g / dm ³)	Mn (m g / dm ³)	P (m g / dm ³)
J11	149,34	2,86	5,06	459,23	21,33	43,01	13,9
J13	25,23	0,56	1,26	236,43	11,93	15,07	ND
J14	15,98	0,52	1,73	268,09	17,09	4,09	1,72
J15	79,09	1,08	7,56	472,10	25,43	27,04	1,79

Tabela 4 – Resultados obtidos pela metodologia do boletim técnico n.5º

Fonte: Autor (2025)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos ao longo deste artigo demonstraram boa correlação entre os valores obtidos pelo método tradicional e o método de extração Mehlich 3, apesar de pequenas variações nos teores extraídos de fósforo, potássio, sódio, manganês, cobre, zinco e ferro. Tais variações, no entanto, não comprometeram a confiabilidade das análises, evidenciando a compatibilidade dos resultados obtidos com o novo método em relação ao método de referência. A repetibilidade dos dados também foi satisfatória, reforçando a robustez e a precisão do método Mehlich 3.

Além da qualidade analítica, o método Mehlich 3 se destaca por sua praticidade e eficiência operacional. A aplicação dessa solução extratora permite a análise simultânea de macro e micronutrientes em uma única etapa, o que representa uma significativa economia de tempo, reagentes e mão de obra. Essa facilitação do processo analítico é especialmente vantajosa para laboratórios de rotina, onde a agilidade e a padronização dos procedimentos impactam diretamente na produtividade e nos custos operacionais.

Dessa forma, recomenda-se a adoção do método Mehlich 3 como substituto viável e eficiente aos métodos convencionais utilizados atualmente para análise de nutrientes em solos. A adoção desse método proporciona vantagens tanto em termos econômicos quanto técnicos, sem prejuízo à qualidade dos resultados analíticos. Assim, a substituição das soluções extratoras tradicionais pela solução Mehlich 3 se mostra uma alternativa eficaz.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, M.A.; INOUE, T.T.; ESPER NETO, M; MUNIZ, A.S.. **Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral**. Maringá: EDUEM, 2018.
- BORTOLON, L. **Métodos de avaliação da disponibilidade de nutrientes para as plantas em solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.
- BORTOLON, L.; GIANELLO, C. **Interpretação de resultados analíticos de fósforo pelos extratores Mehlich 1 e Mehlich 3 em solos do Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 7, 2008.
- BORTOLON, L.; GIANELLO, C.; SCHLINDWEIN, J.A.. **Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para o milho pelos métodos Mehlich 1 e Mehlich 3**. Scientia Agraria, Curitiba, Universidade Federal do Paraná. v. 10, n. 4, p. 305–312, 2009.
- CONSOLINI, F.; COUTINHO, E. L. M.. **Extração de micronutrientes em solos sob sistema de semeadura direta por Mehlich 3**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 30, n. 4, 2006.
- COSTA, S.J.B.. **Mehlich 3BR: extrator Mehlich 3 modificado**. 2023. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2023.
- DORAN, J.W. **Soil quality and sustainability**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality**. Madison: SSSA, 1994.
- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.
- FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Solos e Meio Ambiente) – Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001
- KROTH, M. E. **Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para o milho pelas soluções de Mehlich 1 e de Mehlich 3 em solos do Estado do Rio Grande do Sul**, Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- Lehman, R. M. et al.. **Understanding and enhancing soil biological health: The solution for reversing soil degradation**. Sustainability, 2015.

LUTECH. **Capela de exaustão química Walk-in LCQ-W**. Lutech Equipamentos para Laboratório. Disponível em: <https://lutech.com.br/produto/capela-de-exaustao-quimica-walk-in-lcq-w/>. Acesso em: 10 maio 2025.

MEHLICH, A. **Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant**. Comm. Soil Sci. Plant Anal, 1984.

MENDES, A.M.S.. **Introdução à fertilidade do solo**. Aula ministrada no Curso de Manejo e Conservação do Solo e da Água promovido pela Superintendência Federal de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado da Bahia – SFA-BA/SDC/ MAPA. Barreiras-BA: UFBA, 2007.

OLIVEIRA, C. M. B. **Comportamento dos métodos Mehlich 1, Mehlich 3 e resina trocadora de ânions frente ao poder tampão do solo e à utilização de fosfatos naturais**. Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2010.

PEREIRA, M.F. **Estudo da disponibilidade de fósforo através dos extratores Mehlich 1, Mehlich 3, Bray 1 e Olsen com uso de fertilizantes em Argissolo e Latossolo da Amazônia Central**. 2019. 92 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

QUIMIS APARELHOS CIENTÍFICOS. **Espectrofotômetro visível Q898DPT**. Disponível em: <https://www.quimis.com.br/produto/espectrofotometro-visivel/>. Acesso em: 10 maio 2025.

RAIJ, B. van. **New diagnostics techniques, universal soil extractants**. Comm. Soil Sci. Plant Anal., v. 25, p. 799-816, 1994.

SANTOS, Lênio da Silva et al. **Quantidade de fósforo extraído pelas soluções de Mehlich 1 e Mehlich 3 em razão de diferentes velocidades de agitação, tempos de contato e temperaturas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, p. 109–119, 2015.

SCHONINGER, E.L. et al. **Método Mehlich 3 como substituinte ao HCl para extração de cobre e zinco em solos com alto teor de matéria orgânica do sul do Brasil**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 42, n. 7, p. 1200–1203, jul. 2012.

SHIMADZU DO BRASIL. **AA-7800: Espectrofotômetro de Absorção Atômica**. Disponível em: <https://www.shimadzu.com.br/analitica/produtos/analises-elementares/espectroscopia-absorcao-atmica/aa-7800/index.html>. Acesso em: 10 maio 2025.

SHIMADZU DO BRASIL. **Série AT-R: Balanças Analíticas**. Disponível em: <https://www.shimadzu.com.br/analitica/produtos/balancas/balancas-analiticas/serie-at-r/index.html>. Acesso em: 10 maio 2025.

SIKORA, F. J. et al. **Comparison of colorimetric and ICP determination of phosphorus in Mehlich 3 soil extracts**. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 36, n. 7-8, p. 875-887, 2005.

TECNAL. **Mesa agitadora pendular**. Disponível em: https://tecnal.com.br/pt-BR/produtos/detalhes/3017_mesa_agitadora_pendular. Acesso em: 15 abr. 2025.

WANG, J. J. et al. **Comparison of soil-test extractants for phosphorus, potassium, calcium, magnesium sodium, zinc, copper, manganese, and iron in Louisiana soils**. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 35, n. 1-2, p. 145-160.